

PENGEMBANGAN KOMPRESI *HYBRID* PADA CITRA LANDSAT-8 UNTUK *QUICK LOOK* DAN PENGHEMATAN *STORAGE*

(DEVELOPMENT OF HYBRID COMPRESSION ON LANDSAT-8 IMAGERY FOR QUICK LOOK AND STORAGE SAVINGS)

Yuvita Dian Safitri^{1a}, Wismu Sunarmodo^{1a}, Ayom Widipaminto^{1a}

¹Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

^aKontributor utama

e-mail: yuvita.dians@lapan.go.id

Diterima 19 Juli 2019; Direvisi 16 Januari 2020; Disetujui 1 September 2020

ABSTRACT

Compression is an important part of managing remote sensing imagery. Various methods are reviewed and developed to get the best compression results. This paper proposes a hybrid method that combines the PCA, DCT, DWT, and LZW methods to produce the best PSNR and CR values in Landsat-8 images. The stages carried out in this study include; determine random cloud-free datasets at maximum zoom, determine $n_{\text{component}}$ values using PCA, compression comparisons between PCA and hybrid methods (PSNR, CR, time consumption), and inspection of compressed image quality using IQA. The experimental results show the PSNR of hybrid method is 11.86% lower than PCA. The resulting CR value is 24.34 times better than PCA. The time consumption of the compression process is 7.10% slower than the PCA method, and the IQA value is only decreased 9.02% from the original image. The proposed method is able to produce the same image quality as PCA, and has a much better CR value.

Keywords: *Landsat-8, hybrid compression, PCA, DCT, DWT, LZW, PSNR, IQA*

ABSTRAK

Kompresi merupakan bagian penting dari pengelolaan citra penginderaan jauh. Berbagai metode dikaji dan dikembangkan untuk mendapatkan hasil kompresi terbaik. Tulisan ini mengusulkan metode *hybrid* yang menggabungkan metode PCA, DCT, DWT, dan LZW untuk menghasilkan nilai PSNR dan CR terbaik pada citra Landsat-8. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain: menentukan *dataset* citra bebas awan secara acak pada *zoom* maksimal, menentukan nilai *n_{component}* menggunakan PCA, membandingkan kompresi antara metode PCA dan *hybrid* (PSNR, CR, *time consumption*), serta inspeksi kualitas citra hasil kompresi menggunakan IQA. Hasil eksperimen menunjukkan PSNR metode *hybrid* 11,86% lebih rendah daripada PCA. CR yang dihasilkan 24,34 kali lebih baik dari PCA. *Time consumption* proses kompresi 7,10 % lebih lambat dari metode PCA, dan nilai IQA yang hanya menurun 9,02% dari citra aslinya. Metode yang diusulkan mampu menghasilkan kualitas citra sama dengan PCA, namun memiliki nilai CR yang jauh lebih baik.

Kata kunci: Landsat-8, kompresi *hybrid*, PCA, DCT, DWT, LZW, PSNR, IQA

1 PENDAHULUAN

Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh (Pustekdata) – Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) saat ini mengembangkan sebuah sistem akses dan olah data yang diharapkan mampu mempermudah pengguna dalam akses dan proses pengolahan, secara *online*. Penghematan kapasitas *storage* dan *quick look* bisa digunakan untuk mendukung pembangunan sistem akses dan olah data untuk pembangunan *Application Program Interface* (API) LAPAN Engine. (Widipaminto *et al.*, 2019). *Application Program Interface* (API) untuk menghubungkan *user* pada sistem penyimpanan dan pengolahan juga dibuat dalam pengembangannya. Sistem API memiliki fitur *quick look* yang menuntut penampilan citra secara cepat untuk data yang dipilih, karena itu kompresi diperlukan untuk meningkatkan performa *quick look* pada API. Kompresi tidak hanya bisa dilakukan dalam metode *lossless* untuk menghemat tempat penyimpanan, namun juga dapat dilakukan secara *lossy*.

Peningkatan teknik kompresi untuk mendapatkan *Compression Ratio* (CR) yang optimal dan kualitas citra terbaik dapat dilakukan dengan menggabungkan teknik kompresi *lossy* dan *lossless* yang dikenal sebagai teknik kompresi *hybrid*. Kombinasi ini bertujuan untuk mengoptimalkan keuntungan dari masing-masing metode kompresi (Setyaningsih & Harjoko, 2017). Kompresi *hybrid* yang diusulkan dalam tulisan ini menggabungkan teknik kompresi *lossy* dan *lossless* serta

gabungan transformasi sinyal dari *Principal Component Analysis* (PCA), *Discrete Cosine Transform* (DCT), *Discrete Wavelet Transform* (DWT), dan *Lempel-Ziv-Welch* (LZW). Hasil kompresi citra menggunakan metode yang diusulkan mampu menekan penggunaan *storage* dan juga bisa digunakan untuk *quick look* API.

Tahap dekorelasi lazim digunakan untuk mengoptimalkan kompresi citra multispektral. PCA terbukti efisien untuk dekorelasi citra multispektral sebelum melakukan tahap lanjutan dari strategi kompresi yang ditawarkan (Delcourt *et al.*, 2009). DCT adalah salah satu algoritma yang dapat digunakan untuk memproses kompresi sinyal ataupun citra. Fungsi kosinus digunakan dalam perhitungan angka kompleks. DWT merupakan transformasi *wavelet* yang sampelnya diambil secara diskrit. DWT yang digunakan dalam penelitian ini adalah transformasi *Daubechies*. LZW adalah algoritma kompresi populer yang digunakan oleh sejumlah format, termasuk GIF, TIFF, *PostScript* (PS), PDF, *Unix Compress*, dan V.42bis.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Landsat-8. Citra Landsat-8 yang telah dipilih dimodifikasi terlebih dahulu menggunakan teknik *tiling database* (Widipaminto *et al.*, 2019). Metode kompresi kemudian diterapkan pada citra yang telah dimodifikasi tersebut. Kompresi bisa dilakukan untuk banyak kegunaan, makalah ini menggunakan *band* 6, 5, dan 2 yang merupakan komponen citra *false color* untuk pertanian. Penelitian ini mengusulkan metode *hybrid* untuk kompresi citra. Teknik ini terbukti lebih

efisien jika dibandingkan dengan PCA. Hasil kompresi antara PCA dan *hybrid* kemudian dibandingkan satu sama lain. Komponen pembading yang digunakan adalah *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR), CR, *time consumption*, dan *Image Quality Assessment* (IQA).

2 METODOLOGI

Metode yang digunakan untuk pengembangan teknik kompresi ini adalah metode eksperimen menggunakan data citra Landsat-8. Menggabungkan konsep *tiling* pada makalah sebelumnya (Widipaminto *et al.*, 2019) dengan kompresi *hybrid* yang menggabungkan teknik kompresi dan transformasi dari PCA, DCT, DWT, dan LZW. Adapun konsep pengolahannya adalah sebagai berikut:

1. Menentukan *dataset* citra bebas awan secara acak pada *zoom* maksimal
2. Menentukan nilai *n_component* menggunakan PCA
3. Proses kompresi *band* terpilih menggunakan teknik PCA
4. Proses kompresi *band* terpilih menggunakan metode usulan *hybrid* (PCA, DCT, DWT, LZW)
5. Perbandingan teknik kompresi (PSNR, CR, *time consumption*)
6. Inspeksi kualitas citra hasil kompresi menggunakan IQA

Proses kompresi dalam penelitian ini diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman *python* beserta *library* bawaannya yang memiliki fungsi kompresi dan transformasi sesuai metode yang diusulkan. PCA adalah teknik yang mencari pendekatan terbaik dari sekumpulan titik data tertentu menggunakan linier kombinasi satu set vektor yang mempertahankan varian maksimum di sepanjang arahnya (Miranda *et al.*, 2007). Analisis komponen utama dapat digunakan untuk mereduksi dimensi suatu data tanpa mengurangi karakteristik data secara signifikan (Jewell *et al.*, 2014). Secara umum konsep dasar PCA adalah sebagai berikut (Richie, 2019) :

1. Komponen utama pertama adalah kombinasi linier dari variabel asal yang dapat menerangkan varian terbesar

2. Komponen utama kedua adalah kombinasi linier dari variabel asal yang tidak berkorelasi dengan komponen utama pertama, namun memaksimumkan sisa varian dari komponen utama pertama
3. Dan seterusnya

Algoritma DCT melakukan konversi data dari bentuk spasial menjadi bentuk frekuensi, kemudian melakukan pengolahan data frekuensi, dan dikonversi menjadi bentuk spasial menggunakan metode inversi metode yang digunakan (Piptools, 2019). DCT dari sederet n bilangan real $s(x)$, $x = 0, \dots, n-1$, dirumuskan pada persamaan (2-1) (Watson, 1994) :

$$S(u) = \sqrt{\frac{2}{n}} C(u) \sum_{x=0}^{n-1} s(x) \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2n}\right) \quad (2-1)$$

dengan $u = 0, \dots, n-1$ dimana,

$$C(u) = \begin{cases} 2^{-\frac{1}{2}}, & u = 0 \\ 1, & u = \text{lainnya} \end{cases}$$

Setiap elemen dari hasil transformasi $S(u)$ merupakan hasil *dot product* atau *inner product* dari masukan $s(x)$ dan basis vektor. Faktor konstanta dipilih sedemikian rupa sehingga basis vektornya *orthogonal* dan ternormalisasi. DCT juga dapat diperoleh dari produk vektor (masukan) dan $n \times n$ matriks *orthogonal* yang setiap barisnya merupakan basis vektor (Purwandari, 2010).

Transformasi DWT yang dipertimbangkan untuk analisis yaitu *Haar* dan *Daubechies*. Transformasi *Haar* mengurai sinyal diskrit menjadi dua sub sinyal dengan panjang setengah kali panjang sinyal aslinya. Satu sub-sinyal, rata-rata sinyal, dan sub-sinyal lainnya adalah perbedaan atau fluktuasi yang sedang berjalan. Transformasi *Daubechies* memiliki respons frekuensi seimbang namun dengan respons fase non *linear*. Gelombang *Daubechies* menggunakan *overlapping windows*, sehingga spektrum koefisien frekuensi tinggi mencerminkan semua perubahan frekuensi tinggi (Gupta & Choubey, 2008). Penelitian mengenai aplikasi audio, *Daubechies* terbukti lebih baik daripada *Haar* (Mahmoud *et al.*, 2007). Pada penelitian lainnya, secara spesifik terkait citra *hyperspectral*, secara kualitatif dan kuantitatif, dari hasil

klasifikasi dengan inspeksi visual dan penilaian akurasi menyimpulkan bahwa *Daubechies* lebih baik daripada *Haar* (Sharif & Khare, 2014). Maka dari itu dalam penelitian ini, DWT yang digunakan adalah transformasi *Daubechies*.

LZW merupakan teknik kompresi *lossless* yang populer digunakan di dalam beberapa format *file*. Algoritma ini secara efektif melakukan kompresi data repetitif dengan *overhead* komputasi yang minimal (UITS, 2018; Taleb *et al.*, 2010).

Kombinasi dari keempat teknik kompresi tersebut secara pengujian menghasilkan citra dengan nilai PSNR dan CR terbaik. PSNR digunakan sebagai salah satu parameter pembandingan. Rumus PSNR ditunjukkan pada persamaan (2-2) (MathWorks, 2019).

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{R^2}{MSE} \right) \quad (2-2)$$

dimana,

$$MSE = \frac{\sum_{M,N} [I_1(m,n) - I_2(m,n)]^2}{M * N}$$

dan R adalah fluktuasi maksimum pada tipe data citra.

Parameter yang diukur untuk menguji kinerja metode kompresi yang diusulkan adalah CR. *File* yang digunakan sebagai pembandingan dalam format TIF dan *time consumption* proses kompresi yang dihitung dalam satuan detik. Adapun inspeksi visual dilakukan pada hasil *stacking band* citra yang dikompresi, yaitu menggunakan *Automatic IQA* dari *library python*. Kompresi *hybrid* yang diusulkan dengan menggabungkan PCA, DCT, DWT, dan LZW mampu menghasilkan CR yang lebih baik daripada teknik PCA.

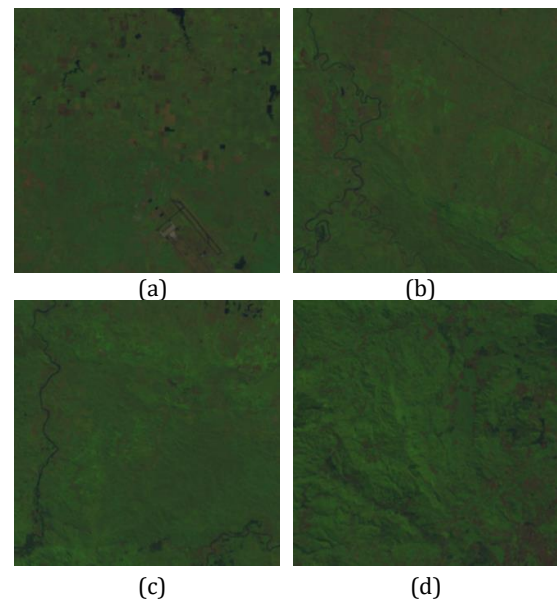
Penulisan hasil penelitian ini dibatasi pada data Landsat-8 *band* 6, 5, dan 2. *Band* tersebut digunakan sebagai perwakilan dari keseluruhan *band* yang ada pada Landsat-8. Ketiga *band* ini merupakan kombinasi yang menghasilkan *false color* untuk aplikasi pertanian. Kombinasi *band* ini dipilih sebagai perwakilan karena bermanfaat untuk pemantauan tanaman pertanian yang tampak hijau cerah. Tanah kosong muncul sebagai warna magenta dan

vegetasi non panen muncul sebagai warna hijau yang lebih muda.

3 HASIL PEMBAHASAN

Gambar 3-1 menunjukkan 4 (empat) *dataset* yang digunakan dalam pengujian, diambil dari daerah sekitar Subang dan Majalengka dengan tanggal akuisisi 20 Juni 2018.

Keempat citra tersebut melalui proses awal kompresi menggunakan PCA pada *band* 6, 5, dan 2 untuk mendapatkan nilai *n_component* terbaik. Nilai *n_component* yang dihasilkan menggunakan pengujian PCA bisa dilihat pada Tabel 3-1. Selanjutnya, proses kompresi menggunakan PCA dan *hybrid* dilakukan dan diukur kinerjanya berupa nilai PSNR dan CR seperti ditunjukkan pada Tabel 3-2, *time consumption* pada Tabel 3-3, serta IQA pada Tabel 3-4.



Gambar 3-1: (a) *Dataset A*; (b) *Dataset B*; (c) *Dataset C*; (d) *Dataset D* (Daerah sekitar Subang dan Majalengka; tanggal akuisisi 20 Juni 2018)

PCA dipilih sebagai pembandingan karena merupakan suatu teknik untuk menyederhanakan suatu *dataset*, dengan mengurangi *dataset* multidimensional ke dimensi yang lebih rendah dengan cara mengambil bagian-bagian dimensi yang penting (Kholis & Alam, 2016). PCA memiliki tujuan untuk mengurangi dimensi dari data tanpa menghilangkan informasi penting dari data tersebut (Setiawan & Sudiarta, 2016). Penelitian yang dilakukan

Maricar dan Widyantara (2018) menyimpulkan bahwa kompresi PCA memiliki kualitas yang baik berdasarkan nilai PSNR-nya (Maricar & Widyantara, 2018)

Tabel 3-1: NILAI $N_COMPONENT$ PCA

No	Dataset	PCA $n_component$
<i>Dataset A</i>		
1	<i>Band 6</i>	90
2	<i>Band 5</i>	95
3	<i>Band 2</i>	120
<i>Dataset B</i>		
1	<i>Band 6</i>	100
2	<i>Band 5</i>	105
3	<i>Band 2</i>	105
<i>Dataset C</i>		
1	<i>Band 6</i>	100
2	<i>Band 5</i>	100
3	<i>Band 2</i>	115
<i>Dataset D</i>		
1	<i>Band 6</i>	100
2	<i>Band 5</i>	100
3	<i>Band 2</i>	115

Tabel 3-2: NILAI PSNR DAN $COMPRESSION$ RATIO MASING-MASING METODE

Dataset	PSNR		Compression Ratio	
	PCA	Hybrid	PCA	Hybrid
<i>Band 6</i>				
(A)	54,1820	50,3863	0,1251	2,4964
(B)	54,8589	50,6115	0,1251	2,4499
(C)	56,1570	50,9107	0,1251	2,6880
(D)	54,7186	50,5826	0,1251	2,4671
Mean	54,9791	50,6228	0,1251	2,5219
<i>Band 5</i>				
(A)	52,8441	49,8189	0,1251	2,2651
(B)	53,2983	50,0609	0,1251	2,1805
(C)	52,5452	49,6959	0,1251	2,1760
(D)	50,3992	48,4609	0,1251	1,9214
Mean	52,2717	49,5092	0,1251	2,1275
<i>Band 2</i>				
(A)	66,0028	51,1468	0,1251	4,2724
(B)	64,8426	51,1432	0,1251	4,5498
(C)	67,5830	51,1353	0,1251	4,7342
(D)	65,0954	51,1416	0,1251	4,4160
Mean	65,8810	51,1417	0,1251	4,4867

Nilai PSNR hasil pengujian menunjukkan bahwa kompresi menggunakan PCA memiliki rata-rata 54,979 untuk *band 6*, 52,272 untuk *band 5*, dan 65,881 untuk *band 2*. Nilai

kompresi pada metode *hybrid* usulan menghasilkan rata-rata PSNR sebesar 50,6228 pada *band 6*, 49,5092 pada *band 5*, dan 51,1417 untuk *band 2*. Secara keseluruhan, nilai PSNR metode *hybrid* adalah 11,86% lebih rendah daripada metode PCA. PSNR digunakan untuk menunjukkan kualitas sinyal dari perbandingan antara citra sebelum dan sesudah dimanipulasi (Fitri et al., 2016). Semakin besar nilai PSNR yang diperoleh maka semakin baik kualitas sinyal yang dimiliki.

Tabel 3-3: $TIME$ CONSUMPTION MASING-MASING METODE

Time consumption (detik)		
Dataset	PCA	Hybrid
(A)	1,6536	1,7704
(B)	1,7664	1,7987
(C)	1,6107	1,7935
(D)	1,6328	1,7738
Mean	1,6659	1,7841

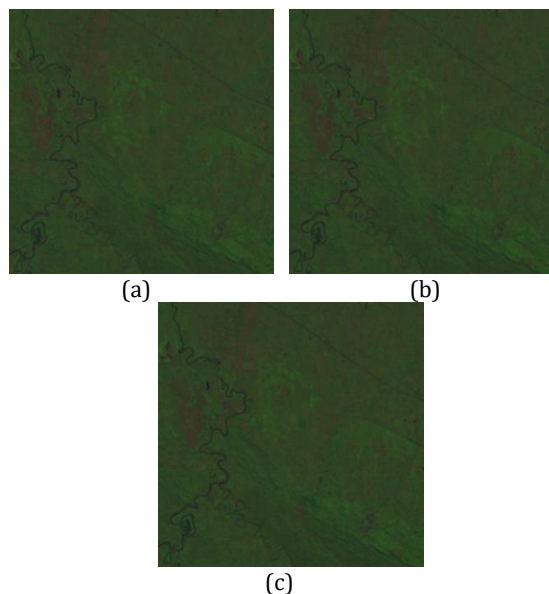
Hasil CR kompresi *hybrid* menjadi keunggulan dari metode usulan ini. Tampak pada Tabel 3-2 bahwa seluruh hasil kompresi PCA memiliki nilai CR yang sama yaitu 0,1251. Sedangkan pada kompresi *hybrid* menghasilkan nilai CR hingga 4,7342. Rata-rata nilai CR pada kompresi *hybrid* bisa meningkat 24,34 kali lebih baik dari metode PCA.

Perhitungan rata-rata *time consumption* yang dibutuhkan untuk melakukan proses kompresi *hybrid* memiliki perbedaan 7,10% lebih lambat jika dibandingkan dengan PCA.

Inspeksi visual dilakukan menggunakan nilai IQA hasil *stacking band 6*, 5, 2 untuk masing-masing metode seperti ditunjukkan pada Gambar 3-2.

Meskipun nilai digital dari masing-masing *band* telah berubah karena proses kompresi, hasil *stacking* tampak baik untuk *quick look*. IQA metode PCA dan *hybrid* memiliki nilai yang sama dan memiliki sedikit perbedaan dibandingkan dengan IQA hasil *stacking* dari citra asli. Rata-rata nilai IQA dari kompresi yang dihasilkan menurun sebesar 9,02% dari citra aslinya.

Penelitian yang dilakukan (Munandar, L, & Santoso (2011) juga menunjukkan pola hasil yang hampir sama dengan penelitian ini dalam hal nilai PSNR dan CR.



Gambar 3-2: Hasil *stacking* Dataset B sebelum dan setelah kompresi: (a) *original*, (b) *PCA*, (c) *Hybrid*

Tabel 3-4: IQA HASIL *STACKING*

IQA			
<i>Dataset</i>	<i>Original</i>	<i>PCA</i>	<i>Hybrid</i>
(A)	37,5313	40,9177	40,9177
(B)	35,3722	38,5063	38,5063
(C)	38,2587	39,3566	39,3566
(D)	47,9564	49,0054	49,0054
<i>Mean</i>	37,5313	40,9177	40,9177

Kualitas citra hasil rekonstruksi setelah dikompresi dapat dilihat dari nilai PSNR untuk membandingkan tingkat kemiripan antara citra asli dengan hasil rekonstruksi. Rasio kompresi warna menunjukkan tingkat akurasi proses rekonstruksi citra setelah dilakukan kompresi. Semakin tinggi nilai rasio kompresi warna, artinya kemiripan hasil rekonstruksi sangat baik karena mendekati citra aslinya (Munandar *et al.*, 2011). Metode ini mampu menghasilkan kualitas citra yang sama dengan PCA, serta memiliki nilai CR yang lebih baik daripada PCA, meskipun hasil PSNR dan waktu proses metode yang diusulkan lebih rendah dari PCA.

4 KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa kompresi *hybrid* yang diusulkan dengan menggabungkan metode PCA, DCT, DWT, dan LZW baik diterapkan bagi pengguna yang memerlukan penghematan kapasitas *storage* dan *quick look*. Nilai rata-rata PSNR untuk metode yang diusulkan adalah 11,86% lebih rendah daripada PCA, namun CR yang dihasilkan 24,34 kali lebih baik dari PCA dengan *time consumption* proses kompresi hanya 7,10 % lebih lambat dari metode PCA. Faktor CR dan *time consumption* tersebut mampu menutupi kekurangan dalam hal PSNR. Hasil IQA menunjukkan bahwa kualitas citra *stacking* metode *hybrid* dan PCA memiliki nilai yang sama, yaitu menurun 9,02 % dari citra aslinya. Meskipun hasil PSNR dan waktu proses metode yang diusulkan lebih rendah dari PCA, metode ini tetap mampu menghasilkan kualitas citra yang sama dengan PCA, serta memiliki nilai CR yang jauh lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pustekdata LAPAN yang telah menyediakan data, dukungan, serta memberi kesempatan untuk penyelesaian makalah ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Perguruan Tinggi yang telah mendanai penelitian melalui Program Insentif Riset Sistem Inovasi Nasional (INSINAS).

DAFTAR RUJUKAN

- Delcourt, J., Mansouri, A., Sliwa, T., & Voisin, Y. (2009). Comparative Study of Multi-2D, Full 3D and Hybrid Strategies for Multi / Hyperspectral Image Compression. *IEEE*.
<https://doi.org/10.1109/ISPA.2009.5297748>
- Fitri, A. A., Mulya, M., & Alfarissi. (2016). Steganografi pada Citra Digital Berwarna 32-Bit Menggunakan Least Significant Bit. *Prosiding Annual Research Seminar*,

- 2(1), 169–172.
- Gupta, D., & Choubey, S. (2008). Discrete Wavelet Transform for Image Processing. *IJETAE*, 4(3), 598–602.
- Jewell, D., Portilla, I., Barros, R. D., Saptarshi, M., Diederichs, S., Seera, H. P., ... Plach, O. O. A. (2014). Performance and Capacity Implications for Big Data. *International Business Machines Corporation*, 1–36.
- Kholis, I., & Alam, S. (2016). SISTEM PENGENALAN WAJAH DENGAN MENGGUNAKAN BACKPROPAGATION ARTIFICIAL NEURAL NETWORK DAN PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS FACE RECOGNITION SYSTEM USING BACKPROPAGATION ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND PRINCIPAL. *Jurnal Teknik Dan Ilmu Komputer*, 05(Okt-Des), 343–354.
- Mahmoud, M. I., Dessouky, M. I. M., Deyab, S., & Elfouly, F. H. (2007). Comparison between Haar and Daubechies Wavelet Transformions on FPGA Technology, 20(April).
- Maricar, M. A., & Widyantara, M. O. (2018). Pemampatan Citra Pas Foto Dengan Menggunakan Algoritma Kompresi Joint-Photographic Experts Group (JPEG) dan Principal Component Analysis (PCA). *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 17(Januari-April). <https://doi.org/10.24843/MITE.2018.v17i01.P14>
- MathWorks. (2019). PSNR (Compute peak signal-to-noise ratio (PSNR) between images). Retrieved April 22, 2019, from <https://www.mathworks.com/help/vision/ref/psnr.html>
- Miranda, A. A., Borgne, Y.-A. Le, & Bontempi, G. (2007). New Routes from Minimal Approximation Error to Principal Components. *Neural Processing Letters*, Springer, 27(3), 1–14.
- Munandar, T. A., L, M. A., & Santoso, A. J. (2011). Analisa PSNR, Rasio Kompresi Warna dan MSE Terhadap Kompresi Image Menggunakan 31 Fungsi Wavelet. *DIGITAL INFORMATION & SYSTEM CONFERENCE*, (October).
- Piptools. (2019). Algoritma DCT (Discrete Cosine Transform). Retrieved April 22, 2019, from <https://piptools.net/algoritma-dct-discrete-cosine-transform/>
- Purwandari, N. (2010). Perbedaan Discrete Cosine Transform (DCT) dan Discrete Wavelet Transform (DWT). Retrieved April 22, 2019, from <https://anoa5.wordpress.com/2010/05/08/perbedaan-discrete-cosine-transform-dct-dan-discrete-wavelet-transform-dwt/>
- Richie. (2019). Principal Component Analysis (PCA). Retrieved April 22, 2019, from <https://www.mobilestatistik.com/principal-component-analysis-pca/>
- Setiawan, I. D. G. A. P. W., & Sudiarta, P. K. (2016). Analisis sistem pengenalan karakter plat kendaraan dari citra kendaraan. *Teknologi Elektro*, 15(2).
- Setyaningsih, E., & Harjoko, A. (2017). Survey of Hybrid Image Compression Techniques. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 7(4), 2206–2214. <https://doi.org/10.11591/ijece.v7i4.pp2206-2214>
- Sharif, I., & Khare, S. (2014). Comparative Analysis of Haar And Daubechies Wavelet for Hyperspectral Image Classification. *ISPRS, XL-8(December)*, 9–12. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-8-937-2014>
- Taleb, S. A., Khtoom, A., & Gharaibeh, I. (2010). Improving LZW Image Compression. *European Journal of Scientific Re*, 44(August).
- UITS. (2018). ARCHIVED: What is LZW

and what are the issues surrounding it? Retrieved March 28, 2019, from <https://kb.iu.edu/d/aghf>

Watson, A. (1994). Image Compression Using the Discrete Cosine Transform. *Mathematica Journal*, 4. https://doi.org/10.1007/978-3-322-96658-2_5

Widipaminto, A., Safitri, Y. D., Sunarmodo, W., & Penginderaan, D. (2019). PENGEMBANGAN TILING DATABASE UNTUK PENYIMPANAN DATA PENGINDERAAN JAUH PADA PEMBANGUNAN LAPAN ENGINE (DATABASE TILING DEVELOPMENT FOR REMOTE SENSING DATA STORAGE IN LAPAN ENGINE CONSTRUCTION). *Jurnal Penginderaan Jauh*, 16, 45–52.